

AWG 型多通道光学梳状滤波器

窦金锋⁸ 韩培德 胡雄伟

(中国科学院半导体研究所 光电子研究发展中心, 北京 100083)

摘要: 本文提出了基于阵列波导光栅 (AWG) 的多通道光学梳状滤波器。通过理论分析, 详细讨论了相关器件参数对通道损耗不均匀性的影响。本文给出了 4 通道和 8 通道 AWG 型光学梳状滤波器的设计参数, 并对器件的性能进行了计算机模拟。AWG 型多通道光学梳状滤波器, 与传统的双通道光学梳状滤波器相比, 具有累计插入损耗低、器件结构紧凑、应用成本低等突出的优点。满足周期性的 AWG 的特点决定, AWG 型多通道光学梳状滤波器的输出具有一定的通道损耗不均匀性, 但通过器件参数的合理设计可以将通道损耗不均匀性控制在可以接受的范围之内。

关键词: 光学梳状滤波器; 多通道; 阵列波导光栅

0 引言

对光信号的密集波分复用是提高光纤通信能力的一种有效的技术手段, 而光学梳状滤波器则是波分复用系统中的一类关键器件, 采用它可以对现有的通信系统进行方便而经济的升级改造。实现光学梳状滤波有多种可行的技术途径, 例如: 马赫曾德干涉仪、光纤布拉格光栅、双折射晶体等^[1~5]。以上这些技术, 大都采用体型光学元件。相比而言, 平面光波导器件由于具有体积小、可靠性高、便于集成、适于批量生产等一系列优点而倍受青睐。2000 年 Ding-wei Huang 等人^[6]基于阵列波导光栅的分波功能, 提出一种利用平面光波导技术来制备的光学梳状滤波器。但他们只给出了传统意义上的双通道的光学梳状滤波器, 没有充分发挥 AWG 的技术优越性。本文将对基于 AWG 的多通道光学梳状滤波器的原理, 特点进行详细的论述, 并给出 4 通道和 8 通道两种光学梳状滤波器的设计参数和计算机模拟结果

1 理论分析

1.1 设计原理

图 1 给出了 AWG 的结构示意图和输出端的局部放大图。AWG 的自由光谱区取决于相邻阵列波导光程差, 可以写作^[7]

$$\Delta f_{FPR} = \frac{c}{n_g \Delta l} \quad (1)$$

其中 c 、 Δl 、 n_g 分别为真空中的光速、相邻阵列波导的长度差和阵列波导的群折射率。AWG 的信道间隔由输出平板波导的几何参数决定, 可以写作

$$\Delta f_{ch} = f_c \cdot \frac{n_{FPR}}{n_g} \cdot \frac{d_a \cdot d_o}{R \cdot \Delta l} \quad (2)$$

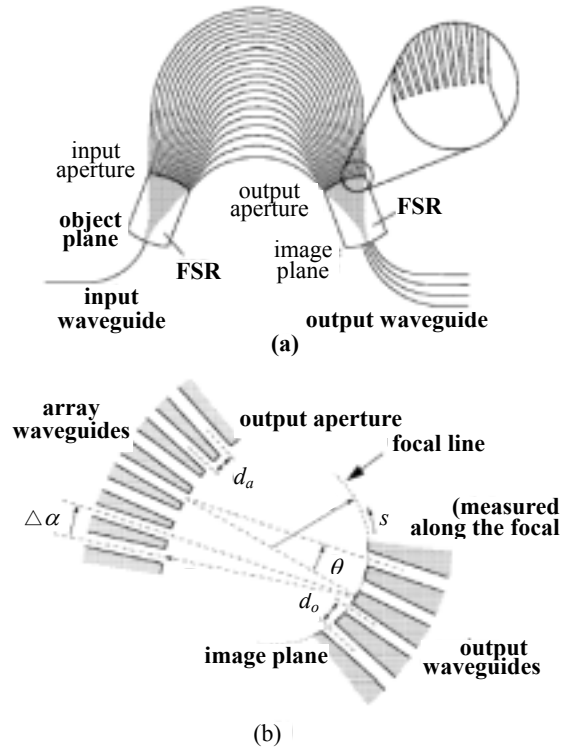


图 1. (a) AWG 的结构示意图 (b) 输出端局部放大图
Fig. 1. (a) Layout of an AWG. (b) Geometry of the output side

⁸ Tel: 010-82304078 Email: jinfengdou@red.semi.ac.cn

其中 f_c 为中心频率, n_{FPR} 为平板波导的有效折射率, d_a 、 d_o 分别为阵列波导和输出波导与平板波导相接处的波导间距, R 为光栅圆的半径。用作光学梳状滤波器的 AWG 必须满足周期性, 即

$$\Delta f_{FPR} = N \Delta f_{ch} \quad (3)$$

其中 N 为输出波导的数目。为了使输入输出光信号的频率间隔与 ITU 标准一致, 输出通道的数目应选为 $N=2^n$, 并对称的分布于聚焦面中心的两侧, 以尽量减小通道损耗不均匀性。

1.2 通道损耗不均匀性分析

通道损耗不均匀性定义为最外侧通道与中心通道之间的能量比^[7], 以分贝为单位计量。把阵列波导的远场近似的看作高斯光场, 不难得到通道损耗不均匀性的表达式

$$L_u = -10 \cdot \log(e^{-2\theta_{\max}^2/\theta_0^2} / e^{-2\theta_c^2/\theta_0^2}) \quad (4)$$

其中 θ_0 为高斯光束扩展角的半角, θ_{\max} 、 θ_c 分别为最外侧输出波导和中心输出波导与平板波导中线之间的夹角。当输出波导数为奇数时, 中心波导位于聚焦面的中心 ($\theta_c=0$), (4)式与文献^[7]中的(9)式相同。对于本文提出的 AWG 型多通道光学梳状滤波器, 输出波导数为偶数, 中心波导是位于聚焦面中心两侧的两根波导, 此时

$$\theta_c = \frac{D}{R} \cdot \frac{\Delta f_{ch}}{2} \quad (5)$$

$$\theta_{\max} = \frac{D}{R} \cdot \frac{\Delta f_{ch}(N-1)}{2} \quad (6)$$

其中 D 为 AWG 的角色散^[7]。由(3)、(4)、(5)、(6)四式可以得到

$$L_u = 13.66 \cdot \frac{N-2}{N} \cdot \frac{w_e^2}{d_a^2} \quad (7)$$

其中, w_e 为阵列波导开口处的有效模场宽度。从 (7) 式可以看出, 要得到小的通道损耗不均匀性, 就要尽量减小 w_e/d_a 的比值。这与减小插入损耗的要求正好相反^[7], 因此在确定 w_e/d_a 的比值时应该综合考虑两者的要求。

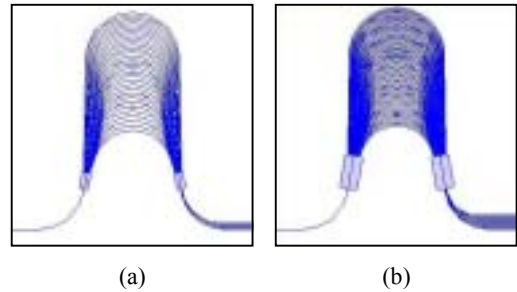


图 2. (a) 1×4 (b) 1×8 AWG 型光学梳状滤波器版图

Fig. 2. The layout of (a) 1×4 (b) 1×8 AWG based interleaver

2 设计与模拟

本文以硅基二氧化硅光波导为基础, 根据第二部分中所述的设计原则, 设计了一个 4 通道 (50/200GHz) 和一个 8 通道 (50/400GHz) AWG 型光学梳状滤波器, 具体设计参数见表 1。图 2 给出了两个器件的设计版图, 从图中可以看出, 通道数目的变化对器件的尺寸大小没有明显的影响。

我们用束传播方法(BPM) 对两个器件的传输谱进行了计算机模拟, 模拟结果如图 3 所示。从图中可以看到两个器件的串扰均低于 -50dB, 明显优于其他类型的光学梳状滤波器。两个器件的插入损耗分别为 3.5dB 和 3.7dB。可见增加通道数目, 器件的插入损耗也没有明显的增大。两个器件的通道损耗不均匀性分别为 1.4dB 和 1.8dB, 后者比前者稍大, 于从(7)式得出的结论一致。

表 1. AWG 型光学梳状滤波器的设计参数

Design parameters	Symbol	50/200GHz	50/400GHz
Channel spacing	Δf_{ch}	50GHz	50GHz
Pitch of output waveguide	d_o	24 μ m	24 μ m
Path difference of arrayed waveguide	ΔL	1028.65 μ m	514.33 μ m
Diffraction order	m	962	481
Pitch of arrayed waveguide	d_a	24 μ m	24 μ m
Focal length of slab waveguide	R	2157.22 μ m	4314.45 μ m
Free spectral range	FSR	200GHz	400GHz
Number of arrayed waveguide	N	31	61
Effective refractive index of channel waveguide	n_c	1.4519	1.4519
Effective refractive index of slab waveguide	n_s	1.4543	1.4543
Group refractive index of channel waveguide	n_g	1.4579	1.4579

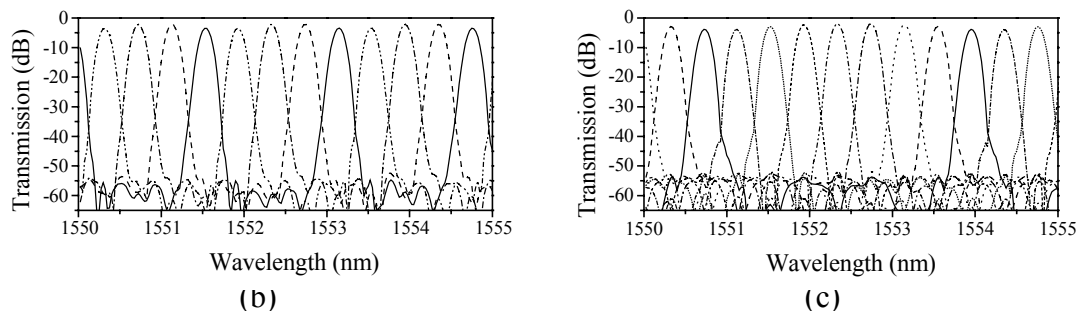


图 3. (a) 1×4 (b) 1×8 AWG 型梳状滤波器的部分输出谱
Fig. 3. Part of transmission spectra of (a) 1×4 (b) 1×8 AWG based interleaver

3 优越性分析

图 4 是梳状滤波示意图,从图中可以看到,在实际应用中采用一个 50/200GHz 的光学梳状滤波器,可以取代一个 50/100GHz 和两个 100/200GHz 光学梳状滤波器,实现相同的梳状滤波功能。这使得多通道光学梳状滤波器具有以下三个显著的优点: (1) 由于 AWG 的插入损耗与通道数目无关,因此采用多通道光学梳状滤波器,可以避免器件的级联,从而降低系统的总体损耗; (2) 采用多通道光学梳状滤波器,可以减少器件数目,使系统更加紧凑; (3) 器件数目的减少,大大降低了系统升级的成本。

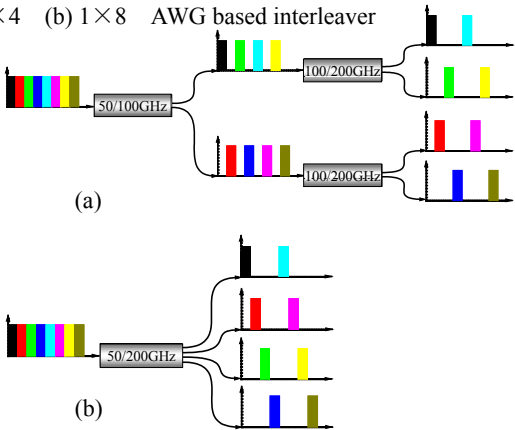


图 4. 梳状滤波示意图 (a)三个双通道梳状滤波器级联 (b)一个四通道梳状滤波器

Fig. 4. Function scheme of (a) Three cascaded 2-port interleaver (b) one 4-port

4 结论

本文提出了基于 AWG 的多通道光学梳状滤波器, 并给出设计实例, 和计算机模拟结果。与传统的双通道光学梳状滤波器相比, 多通道光学梳状滤波器具有总体损耗低、系统升级成本低、系统结构紧凑的优点, 在密集波分复用系统中具有重要的应用价值。

参考文献

- [1] Shaw Wei Kok, Ying Zhang, Changyun Wen, *et al.* "Design of all-fiber optical interleavers with a given specification on passband ripples," Opt. Commun. 2003, 226: 241~248
- [2] Jungho Kim, Jaehyoung Park, Seunghwan Chuang, *et al.* "Bidirectional wavelength add/drop multiplexer using two separate MUX and DEMUX pairs and reflection-type comb filters," Opt. Commun. 2002, 205: 321~327
- [3] Juan Zhang, Liren Liu, Yu Zhou, "A tunable interleaver filter based on analog birefringent units," Opt. Commun. 2003, 227: 283~294
- [4] Qian Wang, Sailing He, "Optimal design of a flat-top interleaver based on cascaded M-Z interferometers by using a genetic algorithm," Opt. Commun. 2003, 224: 229~236
- [5] B.B. Dingel, T. Aruga, J. Lightwave Technol. "Properties of a novel noncascaded type, easy-to-design, ripple-free optical bandpass filter" 1999, 17: 1461~1469
- [6] Ding-wei Huang, Tsung-hsuan Chiu, Yinchieh Lai, "Arrayed waveguide grating DWDM interleaver," OFC2001 2001, 3: WDD80-1~3
- [7] M. K. Smit, "Phasar-based WDM-devices: principles, design and applications," IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron., 1996, 2 (2): 236~250

Multi-port Optical Interleaver Based on Arrayed Waveguide Grating

DOU Jinfeng, HAN Peide, HU Xiongwei

Research and Development Center for Optoelectronics, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China

Abstract: Multi-port optical interleavers based on arrayed waveguide grating (AWG) are proposed and analyzed. The dominant geometry parameters, which determine nonuniformity of such a cyclic AWG, are carefully investigated through theoretical analysis. Two AWG based interleavers, which has 4 and 8 output channels respectively, are designed and simulated on computer. Comparison between two-port and multi-port (more than two) AWG based interleavers shows that the latter has several attractive advantages such as low insertion loss independent of port number, high compactness, and cost effective in application except for the loss nonuniformity which can be controlled in an acceptable level by optimum design.

Keywords: Optical interleaver, multi-port, arrayed waveguide grating.

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题, 有资深工程师领衔主讲, 课程既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 设计原理和设计仿真实践相结合, 向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频, 专家授课, 中文讲解, 直观易学; 既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程:

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>